

SISTEMA DE SIMULACIÓN DE TRANSFORMACIONES LLUVIA-CAUDAL (SSTLC)

María del Rosario San Miguel

Facultad de Ciencias de la Alimentación, Universidad Nacional de Entre Ríos
(3200) Concordia, Entre Ríos, Argentina
marosanmiguel@yahoo.com.ar

y

Martín M. Pérez

Facultad de Ciencias de la Administración, Universidad Nacional de Entre Ríos
(3200) Concordia, Entre Ríos, Argentina
marper@ai.fcad.uner.edu.ar

Abstract

A simulation model is presented that calculates project hydrograms once hydrological procedures have been selected and several meteorological scenes of interest have been defined. In addition, in each stage of the precipitation – flood transformation process, it is possible to choose the best set of algorithms, depending on the available data. The computational system has been designed and developed using a visual programming language (Visual FoxPro for Windows), in order to achieve good user interactivity. The algorithms involved have been programmed and tested. The model has been applied to the upper basin of the Gualeguaychú River, among others, using an event with intense precipitation, getting a good fitting between observed and calculated flows, resulting in the consequent system validation.

Keywords: Simulation of precipitation – flood transformation, project hydrograms.

Resumen

Se presenta un modelo de simulación que permite calcular hidrogramas de proyecto una vez seleccionados los procedimientos hidrológicos y definidos los distintos escenarios meteorológicos de interés. Además, permite elegir el mejor conjunto de algoritmos en cada fase del proceso de transformación lluvia-caudal, en función de la información disponible. Se diseñó y desarrolló el sistema computacional en un lenguaje de programación visual (Visual FoxPro para Windows), para lograr interactividad con el usuario. Se programó cada uno de los diferentes algoritmos involucrados y se realizó el testeo correspondiente. Se aplicó el modelo a la cuenca superior del río Gualeguaychú, entre otras, para un evento de elevada precipitación, obteniéndose un buen ajuste entre los caudales observados y calculados, con la consecuente validación del sistema.

Palabras Clave: Simulación de transformación lluvia-caudal, Hidrograma de proyecto.

1 INTRODUCCIÓN

La solución de los problemas de ingeniería hidrológica que afectan las actividades productivas y existenciales de gran cantidad de personas requiere la utilización de diferentes modelos hidrológicos como herramienta de diseño y de toma de decisiones.

Existen diversos sistemas computacionales para modelar la transformación lluvia-caudal (como IPHS1 [5] y HEC-HMS [7]); aunque todos han sido desarrollados en otros países, utilizando otros idiomas.

Se presenta el SSTLC, un sistema de simulación de transformación lluvia-caudal que permite calcular hidrogramas de proyecto una vez seleccionados los procedimientos hidrológicos y definidos los distintos escenarios meteorológicos de interés. Además, permite elegir el mejor conjunto de algoritmos en cada fase del proceso, en función de la información disponible. Fue desarrollado en un lenguaje de programación visual (Visual FoxPro para Windows), para lograr interactividad con el usuario. Tiene por objetivos:

- Representar de manera sencilla distintas cuencas hidrográficas.
- Ingresar información de tormentas observadas y de proyecto.
- Simular el comportamiento del curso de agua en distintos puntos de la cuenca ante la ocurrencia de una tormenta determinada.
- Modificar los parámetros y la configuración de la cuenca, para ajustar los resultados simulados con los observados.

La estructura del modelo de simulación se describe en la sección 2, en 3 se presenta una descripción sintética de los algoritmos involucrados en el sistema y el desarrollo de algunos de ellos solamente. En la sección 4 se detallan algunos aspectos operacionales, en 5 se presenta la aplicación a la cuenca superior del río Gualaguaychú (ER), para el evento ocurrido el 11/09/02, en 6 se detallan las conclusiones asociadas al análisis de los resultados obtenidos.

2 ESTRUCTURA

El sistema presenta una estructura modular con las siguientes componentes:

1. Lectura de datos y manejo de archivos: permite generar los archivos de información que contienen los parámetros, datos hidrológicos y/o características físicas de la cuenca de acuerdo a las necesidades del usuario.
2. Modelos: está dividida en dos módulos: Cuenca y Río. Cada uno está formado por submódulos que realizan operaciones específicas. A su vez cada submódulo presenta opciones de diferentes algoritmos de cálculo (Figura 1).
3. Visualización e impresión: es la salida que tiene por finalidad presentar los datos utilizados y los resultados numéricos y gráficos, cuando sean solicitados.

3 LOS ALGORITMOS

3.1 Discretización de la Cuenca

Para determinar el hidrograma de proyecto en cuencas pequeñas, donde las características de las precipitaciones son uniformes, no es necesario discretizar la cuenca en subcuencas. Pero en las que son mayores donde no hay uniformidades espaciales, donde existen embalses, modificaciones del

lecho del río y áreas de inundación, sí es necesaria la subdivisión [6]. El sistema posibilita esta discretización considerando factores como: características hidrológicas y morfológicas homogéneas, localización de los puntos de interés, distribución espacial de las precipitaciones y de los embalses, entre otros.

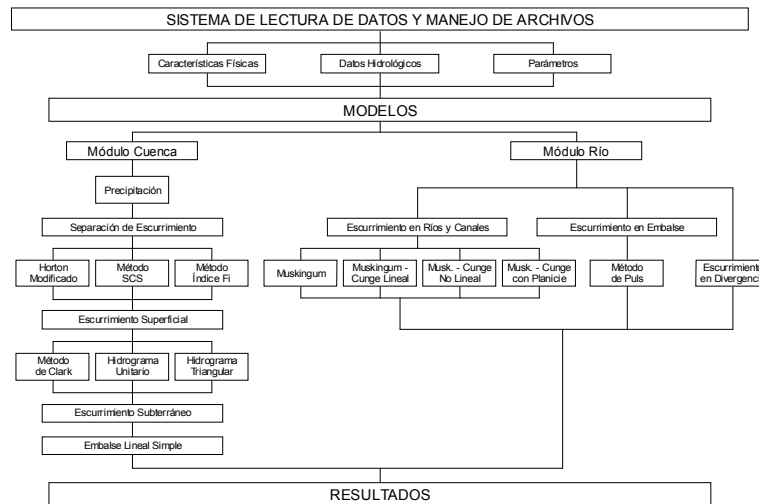


Figura 1: Estructura del sistema.

3.2 Módulo cuenca

Representa el proceso de transformación lluvia-caudal en cada una de las subcuencas en que se discretizó la cuenca total.

3.2.1 Precipitación

El algoritmo tiene por finalidad calcular el histograma de cada subcuenca. Existen dos posibilidades: histograma de proyecto y observado. En el caso del histograma observado se debe cargar para cada subcuenca los números de los pluviógrafos y sus correspondientes coeficientes de Thiessen para que el sistema calcule la precipitación media ponderada en cada intervalo de tiempo para cada subcuenca, según el método de los polígonos de Thiessen [3]. Si se trata de un histograma de proyecto, existe la opción de ingresar la precipitación con una determinada ordenación definida por el usuario, en forma desagregada, en cuyo caso la tormenta se aplica directamente a la subcuenca para separar el escurrimiento y generar el hidrograma de escurrimiento superficial. O bien, está la opción de ingresar los valores de precipitación acumulada para cada intervalo de tiempo, extraídas de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (I-D-F), en cuyo caso el algoritmo desagrega las precipitaciones acumuladas y permite reordenar la tormenta de proyecto variando el tiempo pico de la precipitación (T_{pp}) entre las siguientes posiciones: 25, 50 y 75 % de la duración de la precipitación.

3.2.2 Separación de escurrimiento

La separación de la lluvia efectiva que va a ser utilizada para la determinación del hidrograma de escurrimiento puede realizarse mediante alguno de los siguientes algoritmos: Horton Modificado, Método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) y Método de tasa de pérdida constante (índice F_i).

- Método del N° de Curva del SCS [8]

El algoritmo se basa en la proporción (1) donde P es la precipitación acumulada (mm), Q es el escurrimiento directo o exceso de precipitación (mm), S es la pérdida potencial máxima al inicio de la tormenta (mm)

$$\frac{P-Q}{S} = \frac{Q}{P} \quad (1)$$

Se considera una pérdida inicial Ia igual a la cantidad de precipitación que no produce escurrimiento al inicio de la tormenta. Restando las pérdidas iniciales (Ia) de la precipitación acumulada (P) en la expresión (1) y despejando Q se obtiene la ecuación (2)

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (2)$$

donde Ia es considerada como el 20% de las pérdidas potenciales máximas:

$$Ia = 0.20.S \quad (3)$$

Introduciendo (3) en (2) se obtiene:

$$Q = 0 \quad \text{si } P < Ia$$

$$Q = \frac{(P - 0.2.S)^2}{P + 0.8.S} \quad \text{si } P > Ia \quad (4)$$

Con la ecuación (4) se pueden trazar curvas que relacionan el escurrimiento directo acumulado con la precipitación total (Figura 2). El número de curva (parámetro CN) fue clasificado de acuerdo con el tipo y uso de suelo y está relacionado con la pérdida potencial inicial máxima S por (5)

$$CN = \frac{25400}{10 + S} \quad (5)$$

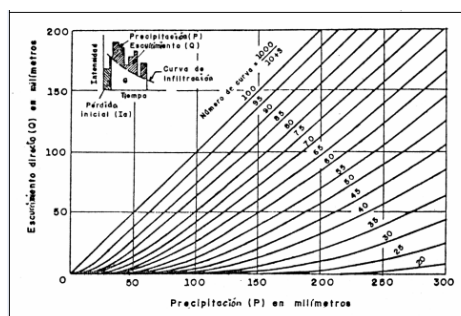


Figura 2: Función precipitación-escurrimiento directo (SCS).

– Horton Modificado: [3]

Permite obtener además de las pérdidas y los excesos, los volúmenes percolados.

– Método del Índice Fi: [5]

Se define como una capacidad de infiltración constante en el tiempo.

3.2.3 Escurrimiento superficial

La transformación de la lluvia efectiva en el hidrograma de escurrimiento directo puede realizarse mediante la elección de los siguientes algoritmos alternativos: Método Clark, Hidrograma Unitario Triangular (SCS) [2] e Hidrograma Unitario.

– Hidrograma Unitario Triangular[9]

El hidrograma adimensional SCS es un hidrograma unitario sintético en el cual el caudal se expresa por la relación del caudal (q) con respecto al caudal pico (qp), y el tiempo por la relación del tiempo (t) con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario (Tp). Dados el caudal pico y el tiempo de retardo para la duración del exceso de precipitación, el hidrograma unitario puede estimarse a partir del hidrograma sintético adimensional para la cuenca dada (Figura 3). El método se basa en las siguientes ecuaciones:

$$qp = \frac{2.08.A}{\left(\frac{t}{2} + 0.6.tc\right)} \quad (6)$$

$$Tp = \frac{t}{2} + 0.6.tc \quad (7)$$

$$Tb = Tp + tr = 2.67.Tp \quad (8)$$

$$Tc = 3.83 \cdot \frac{A^{0.41}}{S^{0.17}} \quad (9)$$

donde: qp es el caudal pico del hidrograma unitario (m^3/s), A es el área de la cuenca (km^2), Δt es el intervalo de tiempo de cálculo, Tc es el tiempo de concentración de la cuenca (h), Tb es el tiempo de base del HU (h), Tp es el tiempo al pico del HU (h), S es la pendiente de la cuenca ($m/10km$).

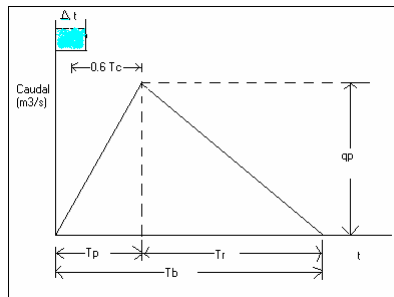


Figura 3: Hidrograma unitario triangular

– Hidrograma Unitario Observado[10]

Se conoce el Hidrograma Superficial correspondiente a una lluvia efectiva de cierta intensidad y duración (y se lo toma como unidad).

– Método de Clark[6]

Es una combinación de histograma tiempo área con embalse lineal simple. El HTA representa la traslación de la lluvia por el deslizamiento por la superficie de la cuenca y el ELS representa el efecto del almacenamiento, considerando ambos procedimientos en forma separada aunque se manifiestan contemporáneamente durante la generación de la respuesta de la cuenca.

3.2.4 Esguerrimiento subterráneo[8]

Es posible calcularlo a través del algoritmo Embalse Lineal Simple cuando se utiliza Horton Modificado para estimar la infiltración y la percolación.

3.3 Módulo río

3.3.1 Propagación en río

El procedimiento básico de propagación de crecidas es el Método Muskingum en sus diferentes versiones: Muskingum clásico, Muskingum-Cunge lineal y no lineal, Muskingum-Cunge no lineal con planicie de inundación. Las dos últimas opciones admiten contribución lateral distribuida.

– Método Muskingum (clásico): [6]

Se basa en la ecuación (10) que es una ecuación de continuidad concentrada, la (11) que es una función empírica que relaciona el almacenamiento (S) con el caudal de entrada (I) y salida (O) del trecho de propagación:

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad (10)$$

$$S = K.[X.I + (1 - X).O] \quad (11)$$

donde K es el parámetro representativo del tiempo de desplazamiento de la onda en el trecho de propagación, X es el parámetro que pondera la influencia de los caudales de entrada y salida del trecho en función del almacenamiento. Y la ecuación (12)

$$O_2 = C_1.I_2 + C_2.I_1 + C_3.O_1 \quad (12) \quad \text{con } C_1 + C_2 + C_3 = 1$$

donde: O_1 y O_2 son los caudales de salida del trecho del canal al inicio y al final del intervalo de tiempo, I_1 e I_2 son los caudales de entrada al inicio y al fin del intervalo de tiempo, C_1 , C_2 y C_3 son coeficientes resultantes de la discretización que dependen de K , X y t .

– Muskingum Cunge lineal: [3]

Los parámetros X y K , que en la versión lineal, son constantes, pueden ser estimados en base a características físicas del trecho de propagación y en base a la discretización, utilizando las siguientes ecuaciones (13) y (14).

$$X = 0.5 - \frac{q}{2.So.C.\Delta x} \quad (13)$$

$$K = \frac{\Delta x}{t} \quad (14)$$

donde q es el caudal específico por unidad de ancho del canal, So es la pendiente del fondo del canal, C es la celeridad de la onda. Esta última es estimada por la ecuación (15).

$$C = \frac{5}{3} \frac{So^{0.3}.q^{0.4}}{n^{0.6}} \quad (15)$$

donde n es el coeficiente de rugosidad de Manning.

– Muskingum Cunge no lineal: [3]

Se caracteriza por la variación de los parámetros X y K en función del caudal a lo largo de la simulación.

– Muskingum Cunge no lineal con planicie de inundación: [8]

Intervienen las características físicas de la planicie de inundación en el cálculo de los parámetros X y K .

3.3.2 Propagación en embalse[6]

Para la propagación de crecidas en embalses se incluye el método de Puls que permite simular la operación tanto en el caso de vertedor libre como para cuando existen estructuras de control como orificios y compuertas, ya sea con un solo movimiento o con movimientos múltiples.

3.3.3 Derivación de caudales[5]

Incluye un algoritmo para simular un canal de derivación sin estructura de control.

4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema tiene un menú principal que cuenta con cuatro opciones: (Figura 4)

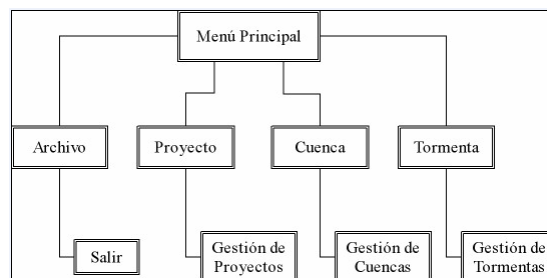


Figura 4: Menús.

- **Menú Archivo:** presenta la opción de salir del sistema.
- **Menú Proyecto:** brinda la posibilidad de acceder a la gestión y ejecución de los proyectos de simulación.
- **Menú Cuenca:** permite gestionar (crear, eliminar, modificar) las cuencas que luego estarán disponibles dentro del sistema.
- **Menú Tormenta:** desde el cual se accede a la gestión de los eventos meteorológico que se utilizarán en las simulaciones.

Para crear un proyecto se deben cargar primero una cuenca y una tormenta.

Al acceder a la opción de **Gestión de cuencas**, se despliega la pantalla **Ingreso de Cuenca** (Figura 5) donde se debe ingresar el nombre, la descripción y el número de estaciones de medición de lluvia en los campos correspondientes.

Hid	Operación	Elemento	Datos de Entrada
1	Tr. LI-C	Cnia. Baylina	Precip.
2	Tr. LI-C	San Ernesto	Precip.
3	Suma	Baylina + San E	Hid 1 + Hid 2
4	Prop. en Río	Tramo 1-2	Hid 3

Figura 5: Ventana que permite el ingreso de una cuenca.

El botón **Nuevo Elemento** habilita el formulario de **Carga de Elementos de la Cuenca** donde se selecciona de una lista desplegable el tipo de elemento (subcuenca, tramo de río, embalse, confluencia, hidrograma leído, derivación). Así se arma un esquema de la cuenca que se va a

trabajar. Cada elemento va asociado a una operación hidrológica (transformación lluvia-caudal, propagación en río, propagación en embalse, suma de hidrogramas, derivación de caudales) y cada operación produce un hidrograma que es identificado con un número y se ejecutan en forma secuencial.

Al acceder a la opción **Gestión de Tormentas** se despliega la pantalla **Ingreso de Tormenta** (Figura 6) donde se debe ingresar un nombre, si se trata de una tormenta observada o de proyecto, el número de estaciones donde se midió la lluvia, el número de intervalos de tiempo con lluvia, la amplitud de dichos intervalos en segundos. El botón **Cargar Tormenta** habilita la ventana **Carga de Estaciones Pluviográficas** y con el botón **Cargar Lluvia** se habilita la pantalla de ingreso de la lluvia propiamente dicha.

Figura 6: Ventana que permite el ingreso de una tormenta.

Para crear un **Nuevo Proyecto** se abre la ventana **Gestión de Proyectos** (Figura 7), donde se lo identifica con un nombre y una breve descripción. Se seleccionan entre las opciones ofrecidas la cuenca y la tormenta cargadas previamente. Se guarda el proyecto y luego se cargan los parámetros para cada una de las operaciones hidrológicas involucradas, y dependiendo de su tipo, se decide entre los métodos disponibles para ejecutar la operación, y se proporcionan los parámetros adecuados que varían de acuerdo a la opción seleccionada. Para ejecutar el proyecto se pulsa el botón **Ejecutar**, del formulario **Gestión de Proyectos**. Para Visualizar resultados, en forma gráfica o de reporte, basta seleccionar la operación y pulsar el botón correspondiente del mismo formulario.

Hid	Operación	Elemento	Datos de Entrada
1	Tr. LI-C	Cnia.Baylina	Precip.
2	Tr. LI-C	San Ernesto	Precip.
3	Suma	Baylina+San Er	Hid 1+Hid 2
4	Prop. en Río	Tramo 1-2	Hid 3
5	Tr. LI-C	Arroyo Barú	Precip.
6	Suma	Tramo1-2+A.Barú	Hid 4+Hid 5
7	Prop. en Río	Tramo 2-3	Hid 6
8	Tr. LI-C	Cda.Las Achira	Precip.
9	Tr. LI-C	La Clarita	Precip.
10	Suma	Tramo2-3+Achir	Hid 7+Hid 8+Hid 9
11	Prop. en Río	Tramo 3-4	Hid 10
12	Tr. LI-C	Cnia.La Honda	Precip.

Figura 7: Ventana para gestión de proyectos.

5 EJEMPLO DE APLICACIÓN GUALEGUAYCHÚ

5.1 Descripción de la cuenca

La cuenca del río Guauguaychú se encuentra en la zona centro-este de la provincia de Entre Ríos. Tiene un clima de tipo sub-húmedo – húmedo. Presenta una red hidrográfica dendrítica con una alta densidad de drenaje [4].

La cuenca superior del río Gualeguaychú (Figura 8) tiene una superficie de 470 km², presentando una orientación general norte-sur. Su curso principal que se extiende desde sus nacientes hasta su intersección con el puente de la Ruta Nacional N° 130, tiene una longitud aproximada de 43 km y una pendiente media de 0.00051 m/m. El valle de inundación presenta pendientes transversales suaves, con un importante grado de ocupación agrícola ganadera. En general la cuenca presenta suelos con muy baja capacidad de infiltración, lo que unido a su geomorfología y a su régimen de lluvias (más de 1000 mm anuales) origina períodos con altos volúmenes de escorrentía superficial seguidos de otros muy escasos, que se tornan casi nulos en épocas de estiaje prolongado [1].

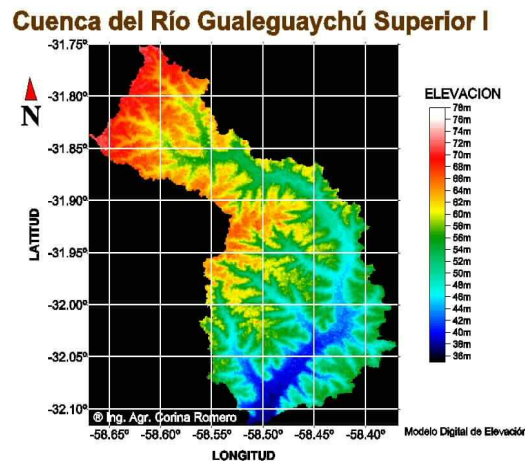


Figura 8: Mapa de la cuenca de la aplicación.

5.2 Datos de la aplicación

Se utilizó el evento ocurrido el 11 de septiembre de 2002 (fuente: Instituto Nacional del Agua – INA, Centro Regional Litoral). Los datos pluviométricos corresponden a las estaciones: San Ernesto, La Clarita y Don Villavicencio.

Definida el área de aporte, fueron demarcadas 10 subcuencas, a las que se les determinaron las características físicas principales y para la propagación en río se utilizó una subdivisión en cinco tramos esquematizándose la cuenca como muestra la Figura 9.

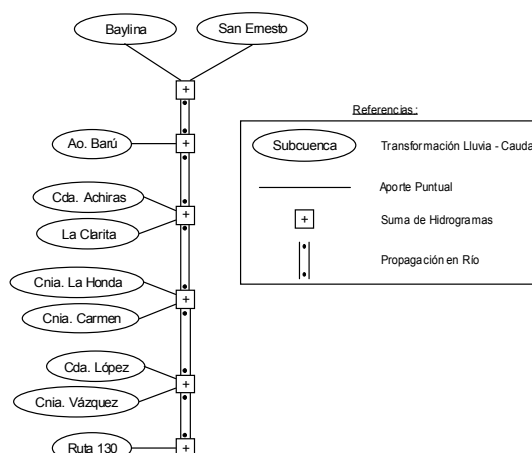


Figura 9: Discretización de la cuenca del Gualeguaychú Superior.

Se obtuvieron registros de caudales continuos del limnógrafo de la estación hidrométrica localizada en la Ruta N° 130, que es el punto de cierre de la cuenca alta del río Gualeguaychú. Se utilizaron las

curvas de descarga obtenidas por Lenzi *et al.* (2003) con la finalidad de cuantificar los diferentes volúmenes de escurrimiento.

5.3 Aplicación del modelo

Se cargó la cuenca del Gualaguaychú Superior seleccionando los elementos necesarios y generando la secuencia de cálculo presentada en la Tabla 1. Se cargó la tormenta del 11 de septiembre del 2002, y se creó, con ellas, el proyecto “GUALEGUAYCHÚ”. Al realizar la carga de los parámetros, en las operaciones de transformación lluvia-caudal se seleccionó el algoritmo N° de Curva del SCS para la separación de escurrimiento y el Hidrograma Unitario Triangular (SCS) para el escurrimiento superficial. En las propagaciones en río se seleccionó el algoritmo Muskingum Cunge Lineal por la limitación de los datos disponibles. Se efectuaron varias simulaciones para diferentes coeficientes de rugosidad de Manning y tomando cauces fictos, con el objeto de poder establecer el entorno de los tiempos de subida y al pico de los hidrogramas.

Tabla 1: Secuencia de cálculo y descripción de las operaciones hidrológicas.
(Cuenca Gualaguaychú Superior)

Hidrograma	Operación	Elemento	Datos de entrada
1	Transf. Ll-C	Colonia Baylina	Precipitaciones
2	Transf. Ll-C	San Ernesto	Precipitaciones
3	Suma	Baylina + San Ernesto	Hid 1 + Hid 2
4	Prop. En Río	Tramo 1-2	Hid 3
5	Transf. Ll-C	Arroyo Barú	Precipitaciones
6	Suma	Tramo 1-2 + Arroyo Barú	Hid 4 + Hid 5
7	Prop. En Río	Tramo 2-3	Hid 6
8	Transf. Ll-C	Cañada Las Achiras	Precipitaciones
9	Transf. Ll-C	La Clarita	Precipitaciones
10	Suma	Tramo 2-3 + Achiras + Clarita	Hid 7 + Hid 8 + Hid 9
11	Prop. En Río	Tramo 3-4	Hid 10
12	Transf. Ll-C	Colonia La Honda	Precipitaciones
13	Transf. Ll-C	Colonia Carmen	Precipitaciones
14	Suma	Tramo 3-4 + La Honda + Carmen	Hid 11 + Hid 12 + Hid 13
15	Prop. En Río	Tramo 4-5	Hid 14
16	Transf. Ll-C	Cañada López	Precipitaciones
17	Transf. Ll-C	Colonia Vázquez	Precipitaciones
18	Suma	Tramo 4-5 + López + Vázquez	Hid 15 + Hid 16 + Hid 17
19	Prop. En Río	Tramo 5-6	Hid 18
20	Transf. Ll-C	Ruta 130	Precipitaciones
21	Suma	Tramo 5-6 + Ruta 130	Hid 19 + Hid 20

5.4 Resultados

Una vez ejecutado el proyecto, los resultados obtenidos para cada una de las operaciones realizadas se pueden visualizar tanto en forma gráfica como tabular. En este trabajo se presenta sólo el hidrograma final de la simulación (Figura 10), junto al hidrograma observado. Se puede apreciar que, en cuanto a su forma y pico, responde adecuadamente a los datos observados. Y, en cuanto la conservación de masa, el modelo reproduce adecuadamente la realidad dado que el total escurrido en la simulación es de 17.41 hm³ en contraste con los 17.76 hm³ observados, lo que implica un error relativo de 0.002.

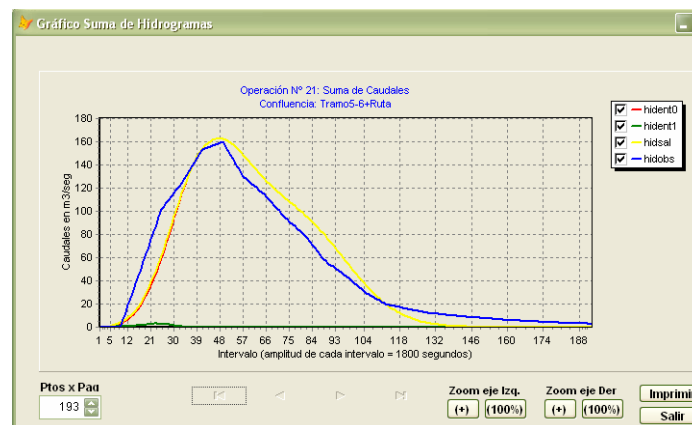


Figura 10: Ventana correspondiente a la salida gráfica de la última operación de la simulación (proyecto GUALEGUAYCHÚ)

6 CONCLUSIONES

El modelo desarrollado y aplicado a la cuenca superior del río Gualeguaychú muestra que es posible generar hidrogramas de proyectos a través de distintas simulaciones aplicadas a una cuenca específica.

La metodología presentada responde adecuadamente, permitiendo al usuario elegir el mejor conjunto de algoritmos, para una cuenca determinada, en cada fase del proceso de transformación lluvia-caudal y en las propagaciones en río.

Los resultados alcanzados, en la cuenca antes mencionada, mostraron un buen ajuste, lográndose determinar la respuesta hidrológica de la cuenca ante una situación de elevada precipitación, con la consecuente validación del sistema.

La herramienta generada está limitada por la información disponible. Los resultados en las simulaciones dependen, en gran medida, de la existencia y confiabilidad de los datos observados. En este aspecto, es necesaria una toma de conciencia de la necesidad e importancia de la recolección y registro sistemático de datos de precipitación y de caudal, así como también de las características físicas de las cuencas, ríos y embalses.

El lenguaje de programación utilizado respondió adecuadamente, lográndose un sistema de manejo simple, aunque queda abierta la posibilidad de mejoras a partir de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Lenzi, Luis M. y otros. Estimación de la disponibilidad del recurso hídrico superficial con destino a riego, en una cuenca del centro-este de Entre Ríos. Informe final. *INA Centro Regional Litoral*, 2003.
- [2] Mays, Larry W. Water Resources Engineering. *Copyright John Wiley & Sons, Inc.* 2001.
- [3] Orsolini, H. E.; Zimmermann, E. D.; Basile, P. A.; Hidrología. Procesos y métodos. *UNR Editora – Editorial de la Universidad Nacional de Rosario*, 2000.
- [4] Pedraza, Raúl A. Estudio hidrológico rural cuenca río Gualeguaychú, Informe final. *Convenio Consejo General de Inversiones Provincia de Entre Ríos*, 1991.
- [5] Tucci, Carlos; Zamanillo, Eduardo; Pasinato, Hugo. Sistema de simulação precipitação-vação IPHS1. *Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS*; 1989.

- [6] Tucci, Carlos. Modelos hidrológicos. *Ed. Da Universidade / UFRGS / Associação brasileira de recursos hídricos*, 1998.
- [7] U. S. Army. Hydrologic Modeling System HEC_HMS: User's manual. *U. S. Army Engineer Division*, 2001.
- [8] Chow, Maidment, Mays. Hidrología aplicada. *Ed. Mc Graw Hill, Colombia*, 1994.
- [9] Ramos, García Occhipinti, Villa Nova, Reichardt, Canedo de Magallanes, Cleary. Engenharia Hidrológica. Editora UFRJ, ABRH, 1989.
- [10] Tucci, C.E.M. Caudal Máxima e Hidrograma de Projeto in: Hidrologia Ciência e Aplicação. Tucci, C.E.M.(org) Edusp. UFRGS, ABRH, 1993.